

*С.-О. Мальмберг, Дж. Мортенсен, Х. Валдимарссон  
(Институт морских исследований, г.Рейкьявик, Исландия)*

## **КВАЗИДЕСЯТИЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА, ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ВОДАХ ИСЛАНДИИ В СВЯЗИ С КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ В ОКЕАНЕ И АТМОСФЕРЕ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ**

### **Введение**

Исландия расположена в области фронтов, то есть в области контакта теплых и холодных океанских течений, которые сходятся в этом районе благодаря его географическому положению и наличию подводного хребта (Гренландско-Шотландский порог), создающего естественный барьер для основных течений (рис.1). Южнее располагается теплое течение Ирмингера (температура 6-8 °С), являющееся ветвью Северо-Атлантического течения, а севернее – холодные Восточно-Гренландское и Восточно-Исландское течения (температура 1-2 °С). В районе Исландии наблюдаются также глубоководные и придонные течения, представляющие собой переток холодных глубинных вод из северных морей и Северного Ледовитого океана в южном направлении через подводные хребты в Северную Атлантику. Различие океанографических условий отражается на атмосферных и климатических условиях страны и прилегающих морей в основном через влияние Исландского минимума и Гренландского максимума. Как гидрологические, так и атмосферные условия влияют на биологические процессы, что проявляется через пищевую цепь, а также на величину пополнения и вылова промысловых рыб.

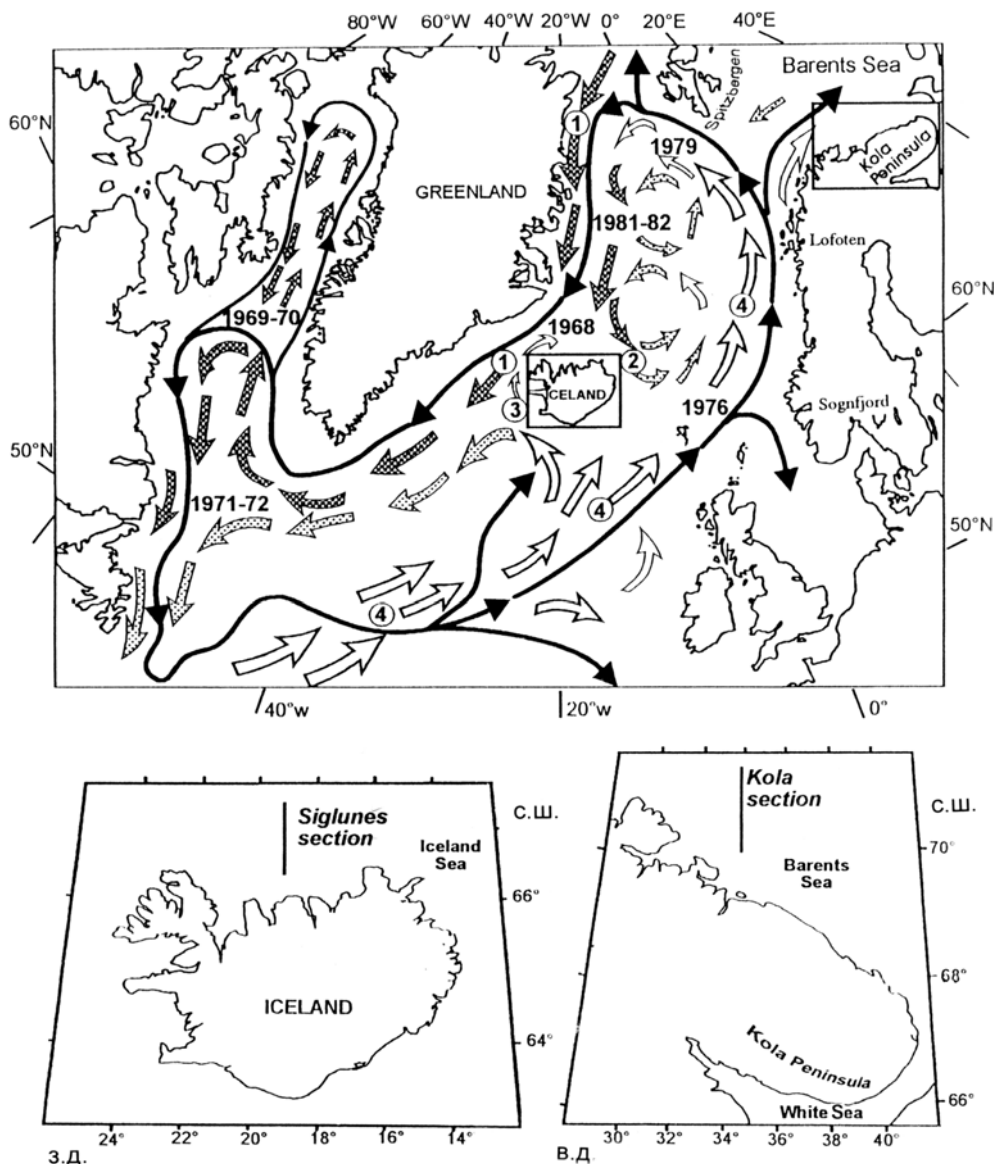
### **Океанографические условия в северо-исландских водах**

Для характеристики межгодовых изменений океанографических условий в северо-исландских водах (рис.2) использовалась океанографическая станция на разрезе «Сиглунес» (см.рис.1), где теплые и соленые атлантические воды с температурой выше 4 °С и соленостью более 34,9 преобладали в 1924-1964, 1972-1974 (период смены климата в Северной

Атлантике (Climatic reversal..., 1975)), 1980, 1984-1987, 1996-1997 гг. и даже в 1998 г., хотя в последнее время и наблюдалась тенденция к снижению солености (рис.3). Все указанные годы более или менее совпадают с периодами положительных значений индекса Северо-Атлантического колебания (САК) (рис.4). Конец 60-х годов, а также периоды 1975-1979, 1982 и 1988 гг. характеризовались преимущественно влиянием более холодных и менее соленых полярных вод, что вызвано распространением в юго-восточном направлении так называемого «холодного языка» Восточно-Исландского течения, часто сопровождается появлением льда (Anon., 1999) (рис.5) и отражается на биологических процессах (Malmberg, 1986; Stefansson, Jakobsson, 1989). Океанографические условия холодного периода конца 60-х годов в северо-исландских водах соответствуют таковым в период экстремальных отрицательных значений индекса САК в XX столетии. Такое совпадение, но выраженное в меньшей степени, отмечалось также в конце 70-х годов (см.рис.2, 4). Особенности ледовых условий связаны с пониженной (менее 34,7) соленостью поверхностных слоев Восточно-Исландского течения, что препятствует перемешиванию вод за счет выхолаживания и адвекции. Таким образом, это благоприятствует формированию дрейфующего льда в северо-исландских водах (Malmberg, 1967, The «Great Salinity Anomaly...», 1988). Данная зависимость обладает некоторой прогностической ценностью относительно возможности прогнозировать появление дрейфующего льда в северо-исландских водах, индексы ледовитости которых в XX столетии (см.рис.5) указывают на четко выраженные периоды суровых ледовых условий, наблюдавшихся до 1920 г. и в конце 60-х годов. В определенной степени это согласуется с общим характером изменений индекса САК (см. рис.4). В северо-исландских водах биологические последствия воздействия океанографических условий в конце 60-х годов выражены в низком уровне первичной продукции (Thordardottir, 1977; Gudmundsson, 1998) и концентрации зооплктона (Astthorsson, Hallgrimsson, Jonsson, 1983), а также в изменении путей кормовых миграций атлантическо-скандинавской сельди в направлении на восток, в Норвежское море (Jakobsson, Östvedt, 1999).

Кроме периодов, характеризующихся атлантическими и полярными условиями, в северо-исландских водах была обнаружена и третья фаза – так называемые арктические условия (Malmberg, Blindheim, 1994; Malmberg, Valdimarsson, Mortensen, 1996). Полярные условия (рис.6, 1979 г.) характеризуются низкой температурой воды и значительным распреснением поверхностных вод, низкая соленость усиливает стратификацию. Значительные максимумы температуры и солености в промежуточных и приповерхностных слоях характеризуют атлантические условия (см.рис.6). В данном случае стратификацию усиливает высокая температура. При

арктических условиях (см.рис.6) максимумы солености в промежуточном слое менее выражены, а стратификация, следовательно, слабая.



**Рис.1. Перенос «Великой соленостной аномалии» (черные стрелки) в Северной Атлантике, годы, когда минимум солености был зарегистрирован в конкретных районах (The «Great Salinity Anomaly»..., 1988). Теплые течения показаны белыми стрелками, холодные – стрелками с крупными черными точками, а течения в областях смешения между ними – стрелками с мелкими черными точками: 1 – Восточно-Гренландское; 2 – Восточно-Исландское; 3 – течение Ирмингера; 4 – Северо-Атлантическое. Исландия и Кольский п-ов показаны в увеличенном виде (по Antonsson, Gudbergsson, Gudjonsson, 1996)**

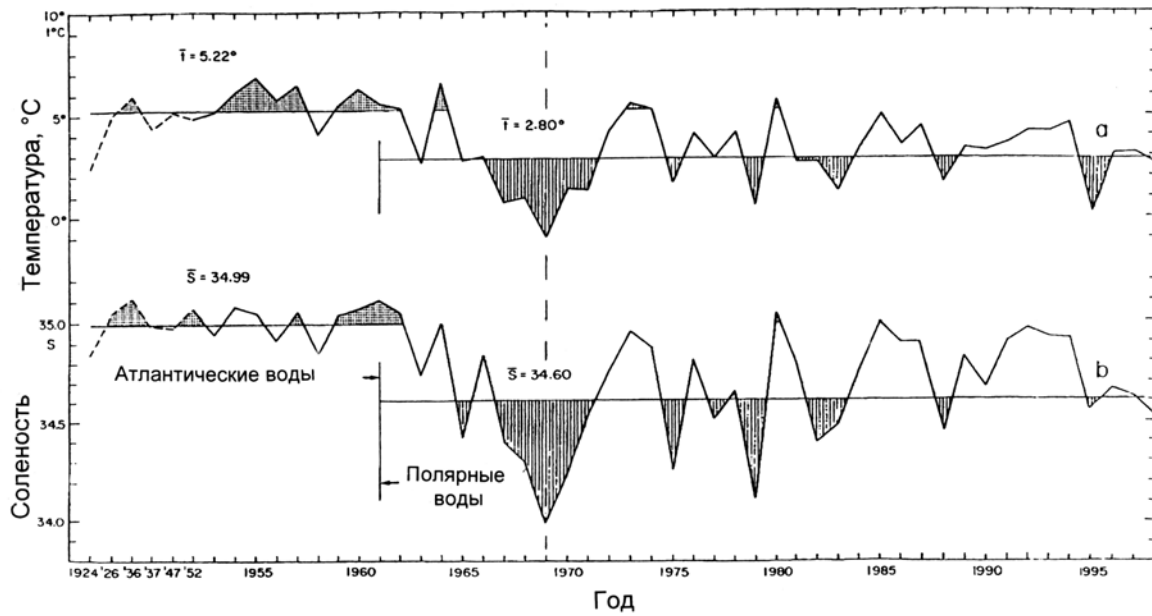


Рис.2. Изменения температуры и солёности на горизонте 50 м на разрезе «Сиглунес», (ст.3) в мае-июне 1924-1998 гг.

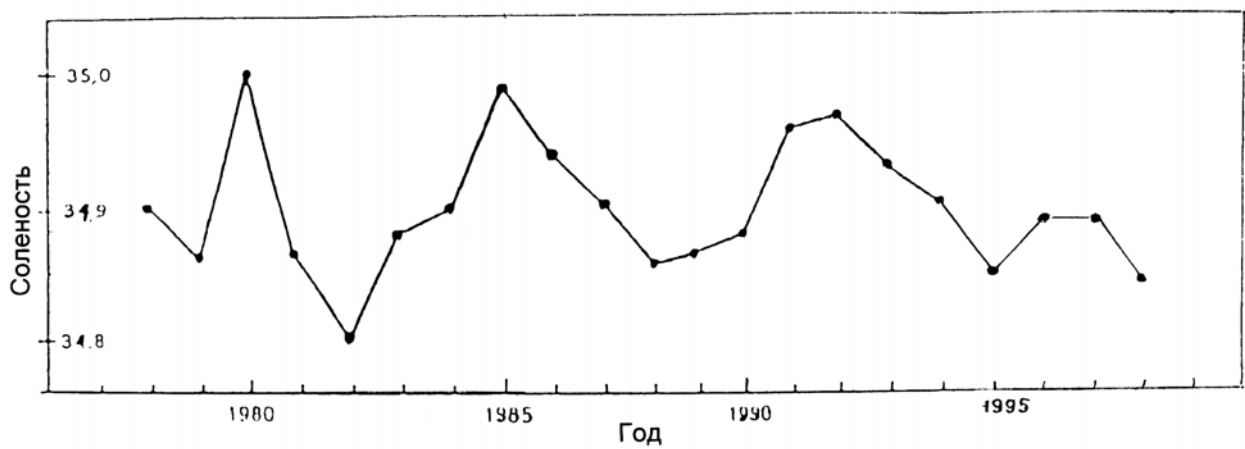


Рис.3. Изменения максимума солёности в верхнем 300-метровом слое на океанографической станции в северо-исландских водах на разрезе «Сиглунес» (ст.3) в мае-июне 1978-1998 гг.

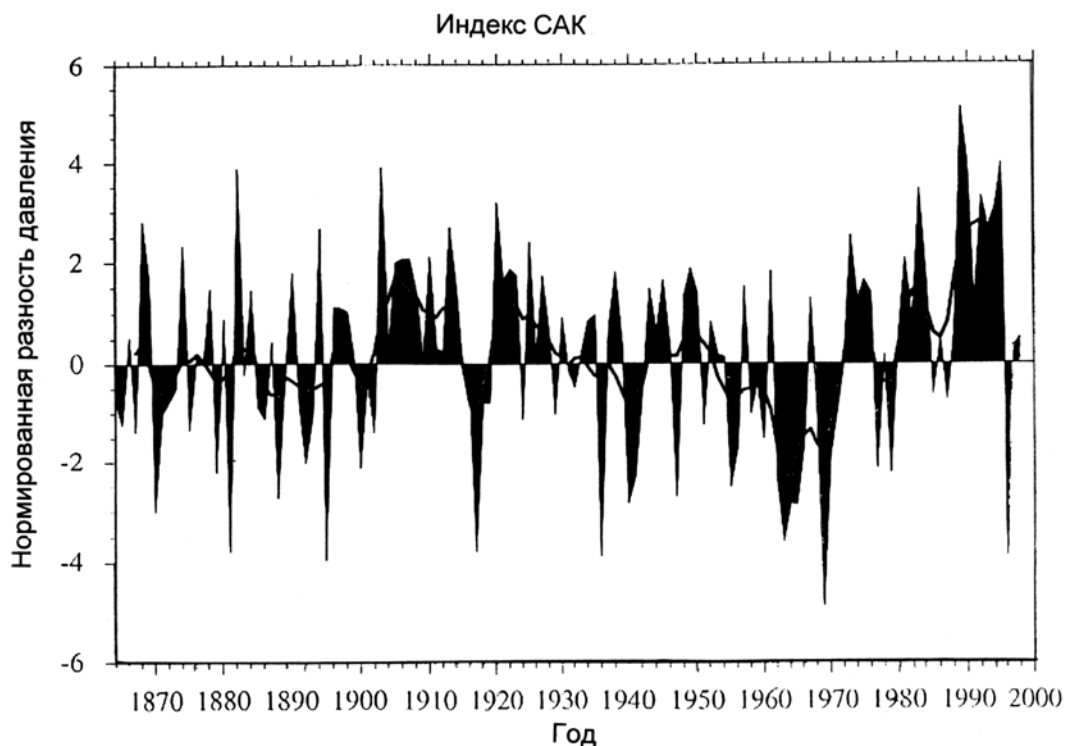


Рис.4. Изменения зимнего индекса САК в декабре-марте 1864-1998 г., представленного в виде нормированных разностей давления на уровне моря между Лиссабоном (Португалия) и Стиккисхолмюром (Исландия) (Hurrell, 1995 г.; Dickson, Meinke, 1998)

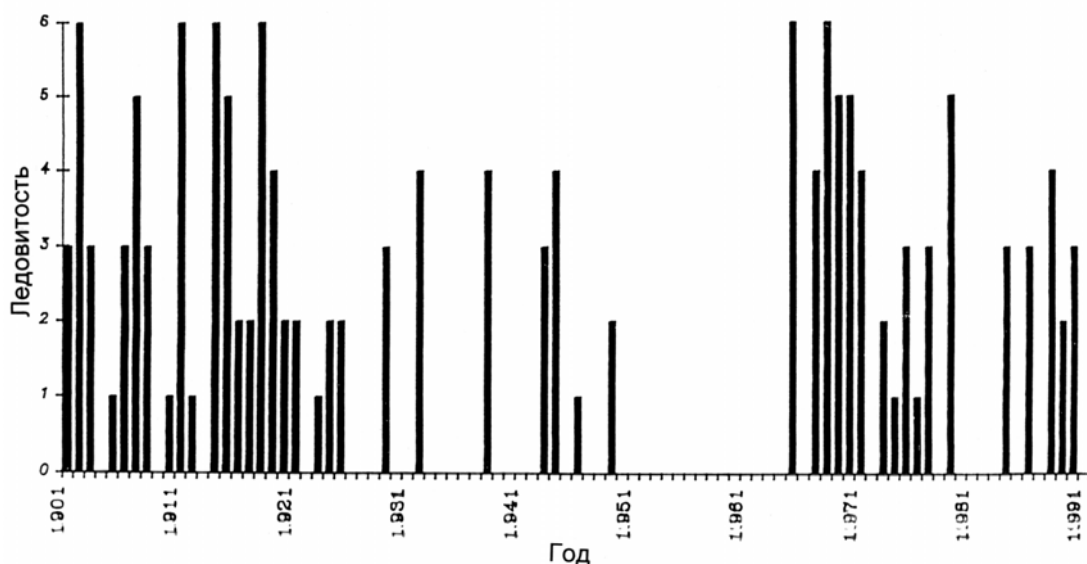
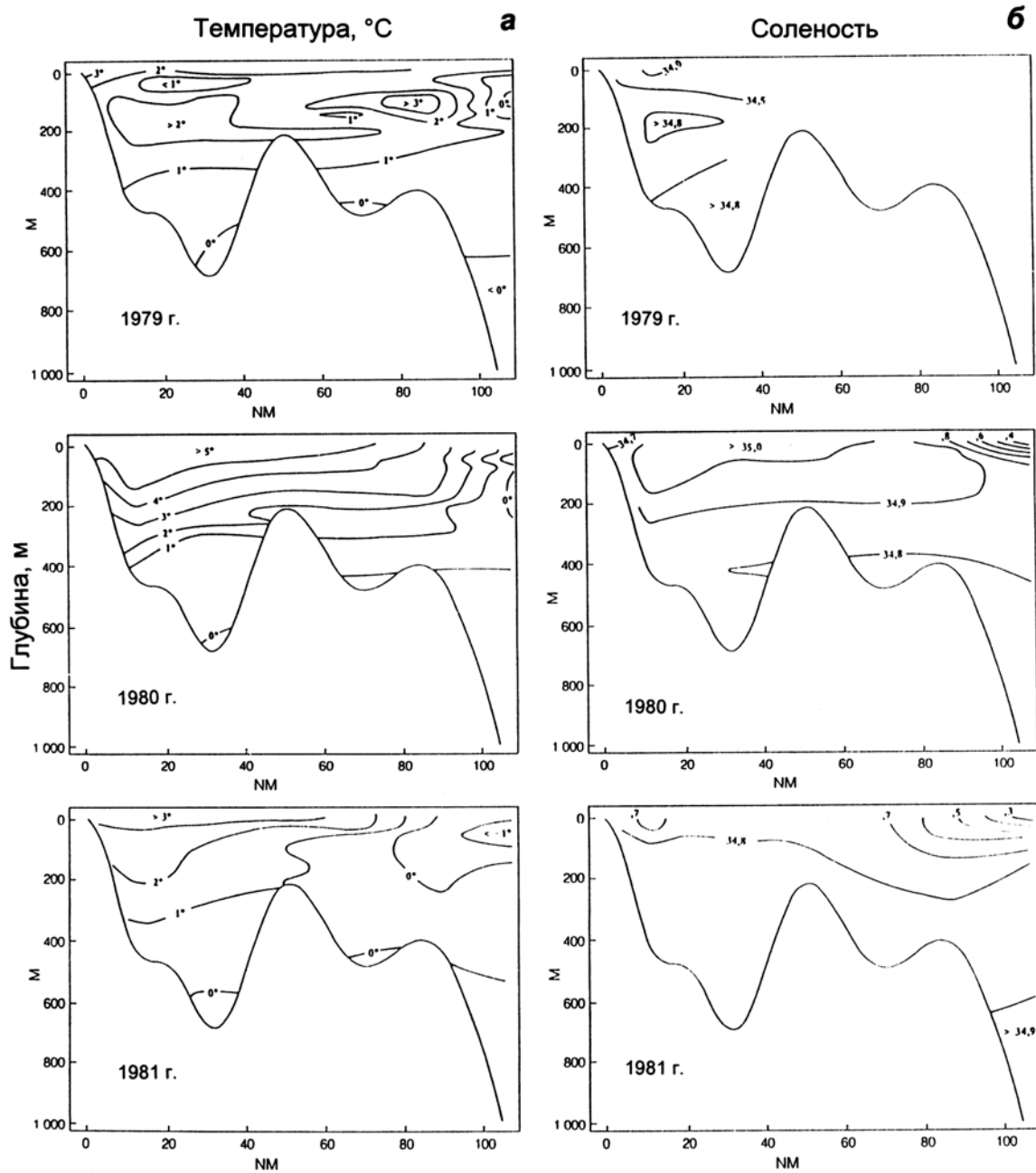
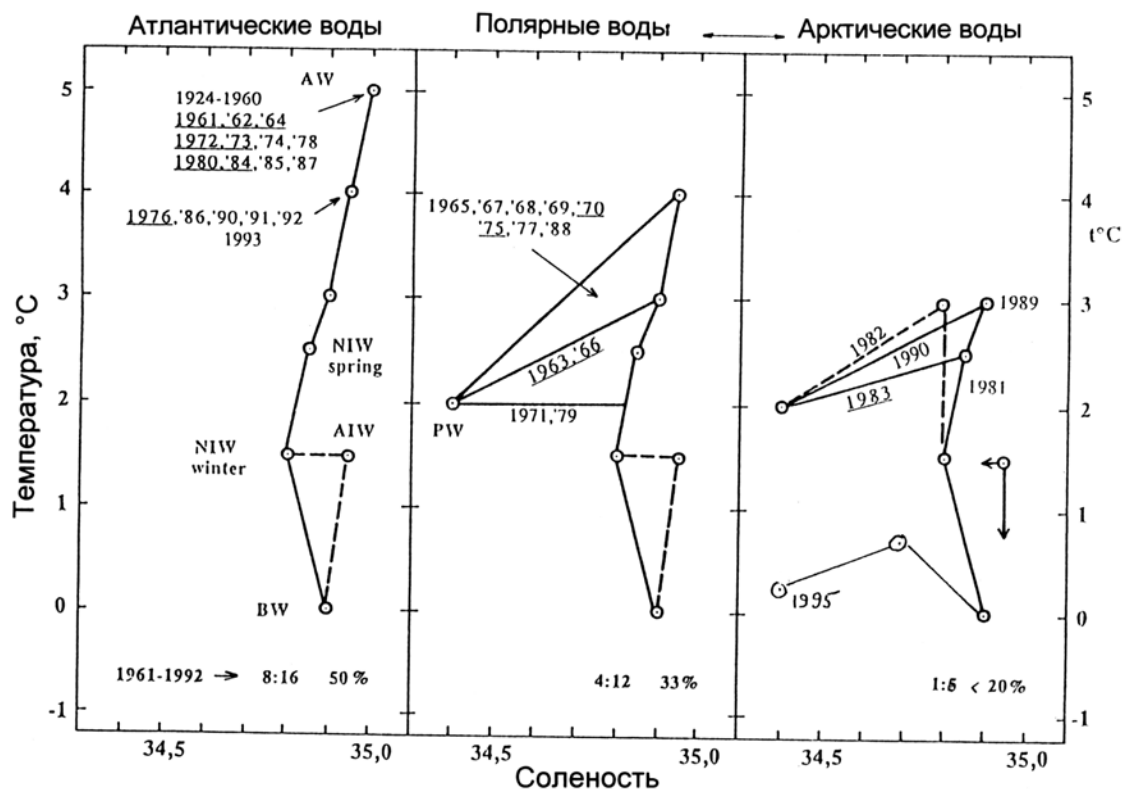


Рис.5. Изменения ледовитости в исландских водах: от отсутствия и небольшого количества льда (0-3) до средней и высокой степени ледового покрытия (4-6) (Icelandic Meteorological Office, 1999)



**Рис.6. Вертикальное распределение температуры (а) и солёности (б) на разрезе «Сиглунес» в северо-исландских водах в мае-июне 1979, 1980, 1981 гг. (по Malmberg, Blindheim, 1994; Malmberg, Valdimarsson, Mortensen, 1996)**

При арктических условиях (температура  $0-3^{\circ}\text{C}$ , солёность  $34,8-34,9$ ), наблюдавшихся в 1981-1983, 1989-1990 гг. и выраженных наиболее сильно в 1995 г. (рис.7), абиотические и биотические условия в северо-исландских водах были чрезвычайно неблагоприятными.



**Рис.7. Характерные взаимосвязи между температурой и соленостью в мае-июне 1924-1992 гг. и в 1995 г. на ст.3 разреза «Сиглунес» в северо-исландских водах на глубине около 450 м. Годы с богатыми и средними поколениями исландской трески подчеркнуты (Malmberg, Blindheim, 1994)**

Такая разница в океанографических условиях северо-исландских вод отражается на формировании концентраций зоопланктона (Astthorsson, Gislason, 1998), величине запаса исландской мойвы, нагуливающейся в районах к северу от Исландии, а также на массе трески, которая питается в основном этой рыбой (рис.8). Пополнение запаса исландской трески также зависит от океанографических условий. В периоды с атлантическими условиями в районах ее откорма в северо-исландских водах величина пополнения была больше (см.рис.7, 9). Вероятно, наиболее значительное повышение происходит именно при переходе от полярных периодов к арктическим или атлантическим, нередко даже при минимальном размере запаса после нескольких лет полярных или арктических условий в выростных районах и местах откорма. В опубликованной недавно работе (Marteinsdottir, Thorarinsson, 1998) на основе учета количества половозрелой рыбы в каждой возрастной группе (так называемый индекс Шеннона) показано, что размер запаса исландской трески и его структура определяют 31 % от общей изменчивости пополнения. Возникает вопрос о том, приходятся ли оставшиеся 70 % на долю условий окружающей среды.

Впоследствии пополнение влияет на размер запаса и вылов (рис.10). Таким образом, промысловый запас периодически колеблется в зависимости не только от биологических факторов, но и от изменчивости океанографических условий, которые, в свою очередь, в значительной мере определяются САК (см. рис.4). Вероятно, в этом участвуют и «Великие соленостные аномалии» (The «Great Salinity Anomaly...», 1988; «Great Salinity Anomalies»..., 1998).

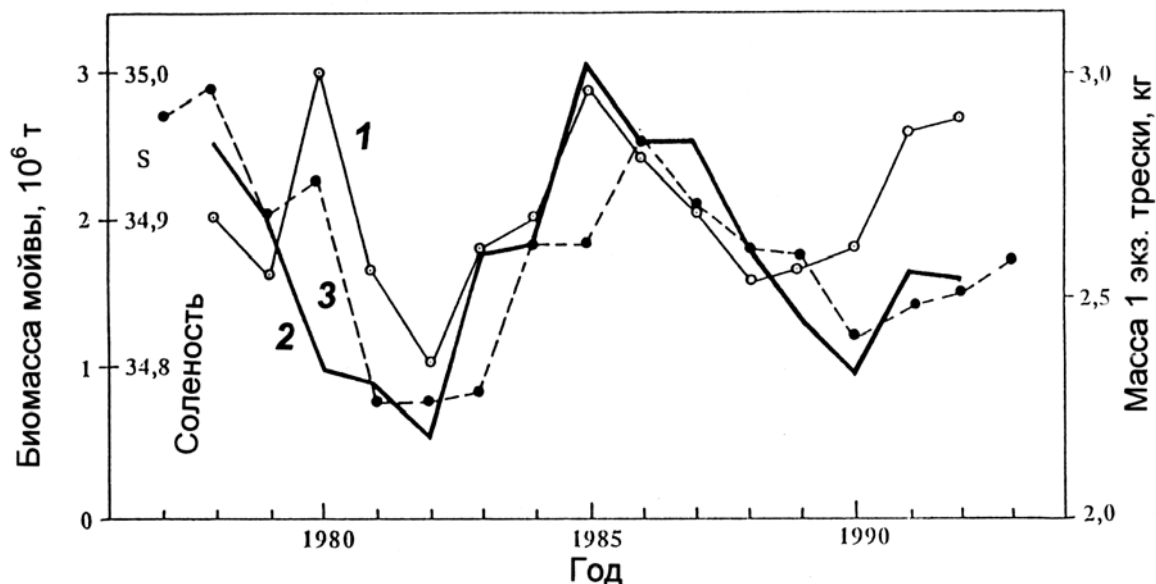


Рис.8. Изменения максимальной солености в верхнем 300-метровом слое на океанографической станции 3 разреза «Сиглунес» в мае-июне (1), общей численности исландской мойвы (2) (Vilhjalmsson, личное сообщение) и массы 5-летней трески (3) (Malmberg, Blindheim, 1994) в исландских водах в 1977-1992 гг.

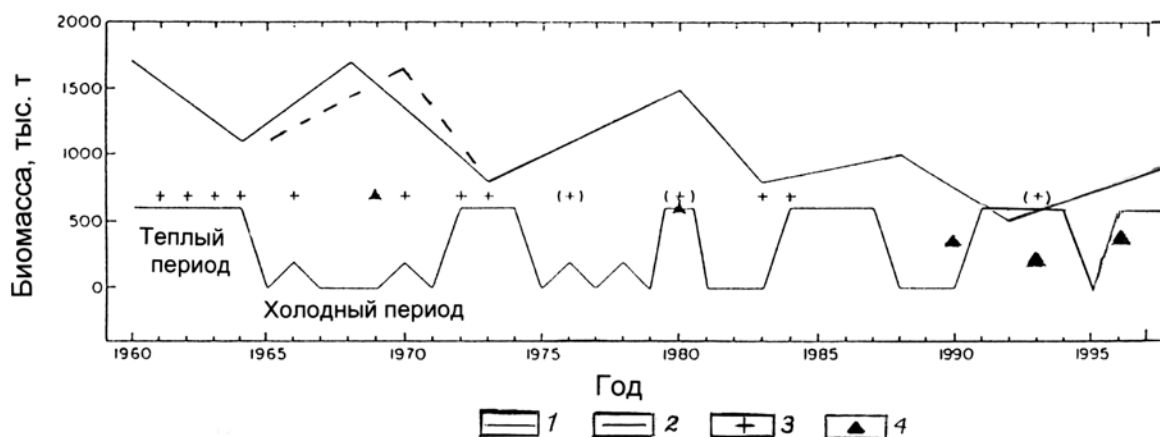
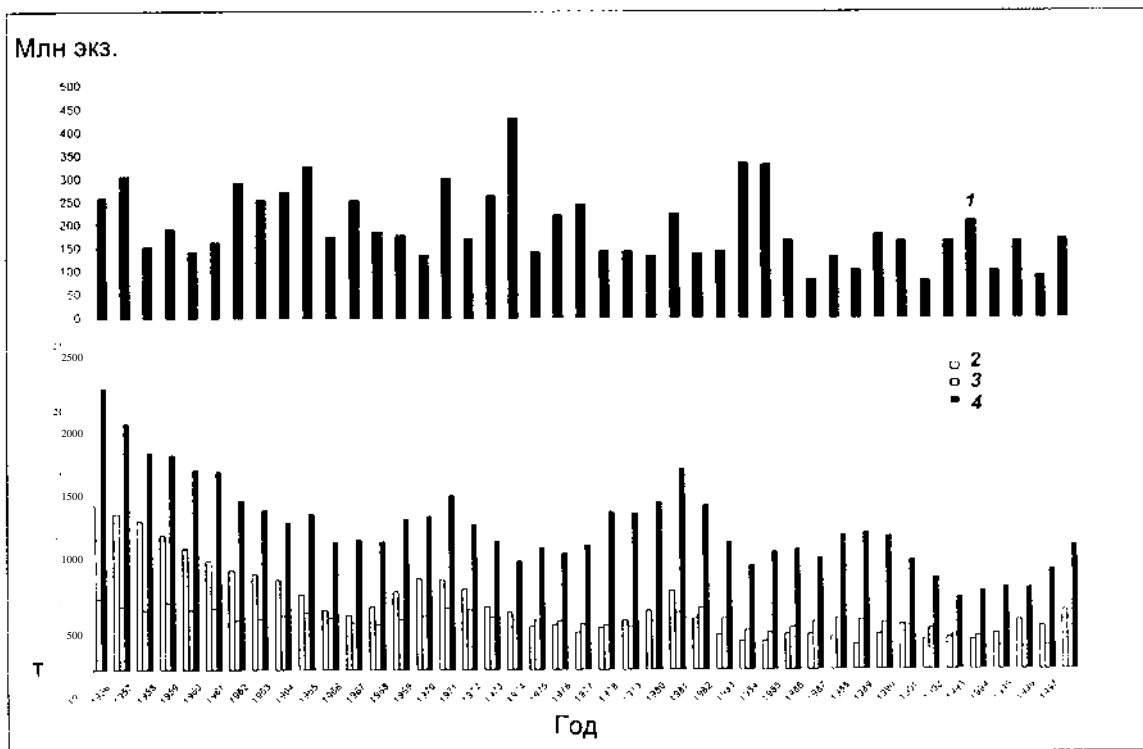


Рис.9. Изменения биомассы промыслового запаса исландской трески (1) и обобщенного индекса благоприятных и неблагоприятных океанографических условий (2) в северо-исландских водах 1960-1998 гг.; годы появления мощных годовых классов трески (3), максимумы биомассы нерестового запаса (4) (Анон., 1998)





**Рис.10. Состояние запаса исландской трески в 1951-1998 гг. (Анон., 1998):**  
**1 – динамика численности рекрутов в возрасте 3 лет; 2 – нерестовый запас;**  
**3 – вылов; 4 – промысловый запас**

## **Северо-Атлантическое колебание, волны Россби и «Великая соленостная аномалия»**

Северо-Атлантическое колебание (Hurrell, 1995) отражает режим изменчивости стоячих волн в циркуляции тропосферы северного полушария и проявляется в одновременном усилении/ослаблении интенсивности Исландского минимума и Азорского максимума, а также в изменении их пространственного положения. В 70-е годы это явление часто объясняли так называемыми волнами Россби (Cushing, 1978), гребни и ложбины которых время от времени изменялись по фазе и амплитуде. Влияние САК выражается в изменениях температуры поверхности океана, траекторий циклонов, смещениях полярного стратосферного вихря, особенностях вихревого меридионального переноса тепла атмосферой, а также в изменениях обмена теплом и влагой между атмосферой и океаном. В 60-70-х годах, преобладали отрицательные значения индекса САК (см. рис.4), и эти особенности атмосферной циркуляции влияли на океанографические

условия. Это ярко проявилось, например, в высокой ледовитости северо-исландских вод в конце 60-х годов. Известно (Rodewald, 1967), что в атмосфере и гидросфере на западе и востоке Северной Атлантики, т.е. в Лабрадорском и Баренцевом морях, наблюдается противоположный знак аномалии (рис.11) (Sundby, 1995). Условия в исландских водах, расположенных между этими двумя (западным и восточным) морями, а также вблизи Полярного и Арктического фронтов, являются более сложными и очень чувствительными к изменчивости как в океане, так и в атмосфере. С учетом действия волн Россби или САК можно предположить, что перенос «Великой соленостной аномалии» в северной части Северной Атлантики в 70-е годы (The «Great Salinity Anomaly...», 1988) начался в районе к северу от Исландии в 60-е, а новая соленостная аномалия 80-х («Great Salinity Anomalies»..., 1998) зародилась в водах к западу от Гренландии.

Эти аномалии объяснялись арктическими условиями, наблюдавшимися в северо-исландских водах в 1981-1983 гг., а также в 1989-1990 гг. Данное положение может иметь такое же прогностическое значение, как и учет тенденций развития САК. Эти взгляды согласуются с положениями прогностической программы CESNA (Климатическая экспертная система для Северной Атлантики) (Rodionov, 1997), в которой климатическая система представлена в виде набора макроклиматических объектов или концептуальных особенностей, таких, как центры действия, высотные гребни и ложбины, струйные течения, температурные аномалии в ключевых районах, размеры полярного ледового покрова, особенности выпадения осадков и т.д. Поскольку механизмы этих взаимодействий до сих пор плохо изучены, то они могут проявляться через статистические зависимости или в результате приближенного «правило подсчета». Мы должны также стремиться к пониманию физической сути взаимосвязей, насколько это возможно. Основная цель исследований состоит в том, чтобы добиться прогресса при прогнозировании колебаний климата с заблаговременностью даже в несколько лет. На рис.12 представлены результаты расчетов по программе CESNA, а также прогноз зимних температурных аномалий на разрезе «Кольский меридиан» с заблаговременностью в один год (Rodionov, 1998).

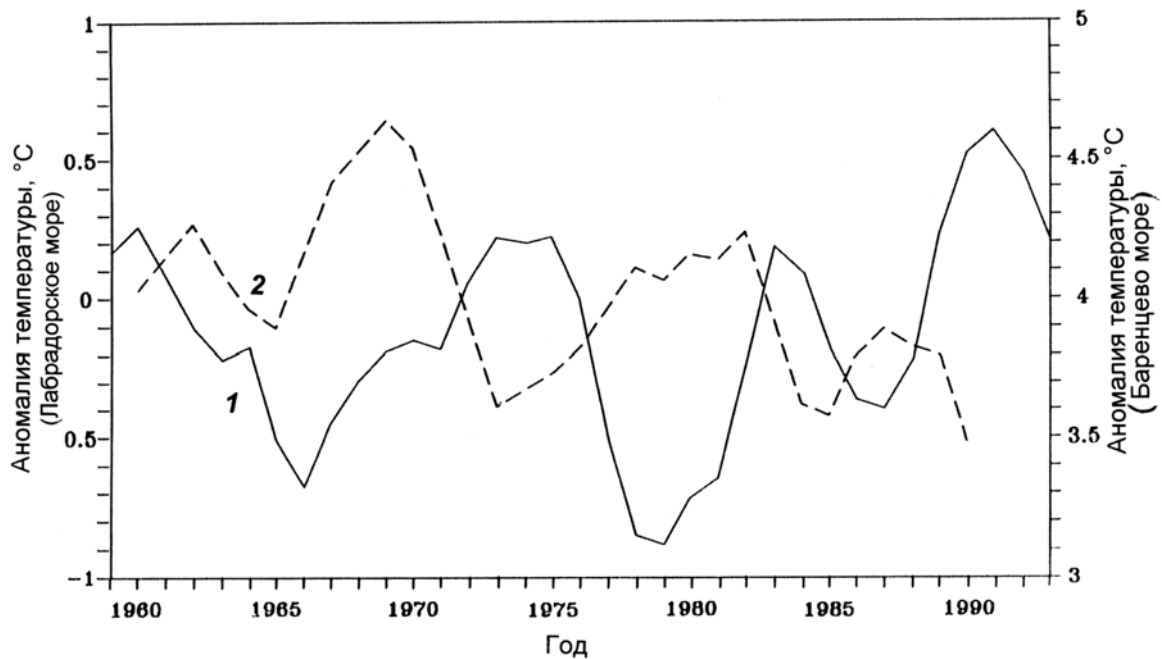


Рис.11. Временные ряды температуры, подвернутой скользящему осреднению по 3-летиям, за период 1960-1990/1993 гг. в Баренцевом море (разрез «Кольский меридиан») (1) и Лабрадорском море (океанографическая станция 27 у побережья Ньюфаундленда, г.Сент-Джонс) (2) (Sundby, 1995)

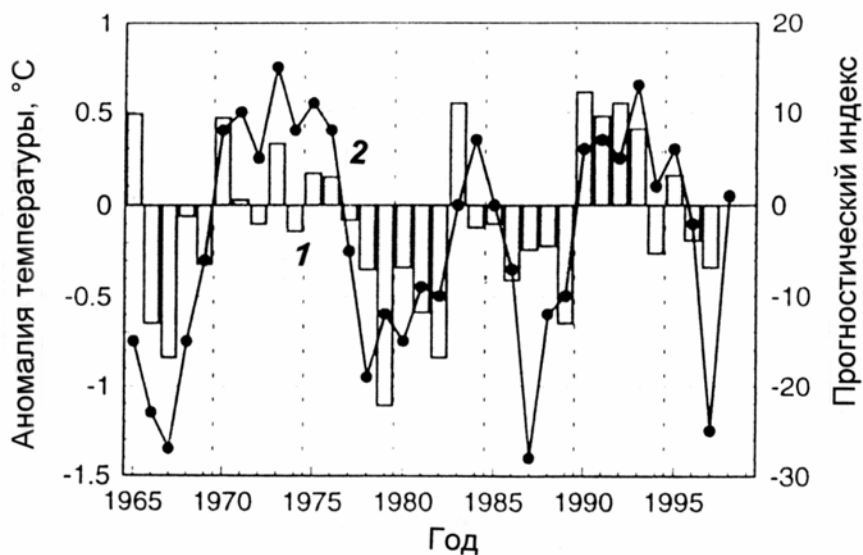


Рис.12. Средняя зимняя температура в слое 0-200 м на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море (1965-1997 гг.) (1) и ее прогноз с заблаговременностью в один год (2). Прогностический индекс представляет собой разность доверительных вероятностей для теплых и холодных градиентов (Rodionov, 1998)

Другая хорошая прогностическая особенность заключается в том, что сходные океанографические условия на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море и на разрезе «Сиглунес» в северо-исландских водах наблюдаются с разницей в 2-3 года (см. рис.1, рис.13) (Antonsson, Gudbergsson, Gudjonsson, 1996). Это соответствует переносу соленостных аномалий, наблюдаемых в северных морях начиная с районов у берегов Норвегии и Шпицбергена в направлении северо-исландских вод (The «Great Salinity Anomaly...», 1988; «Great Salinity Anomalies»..., 1998).

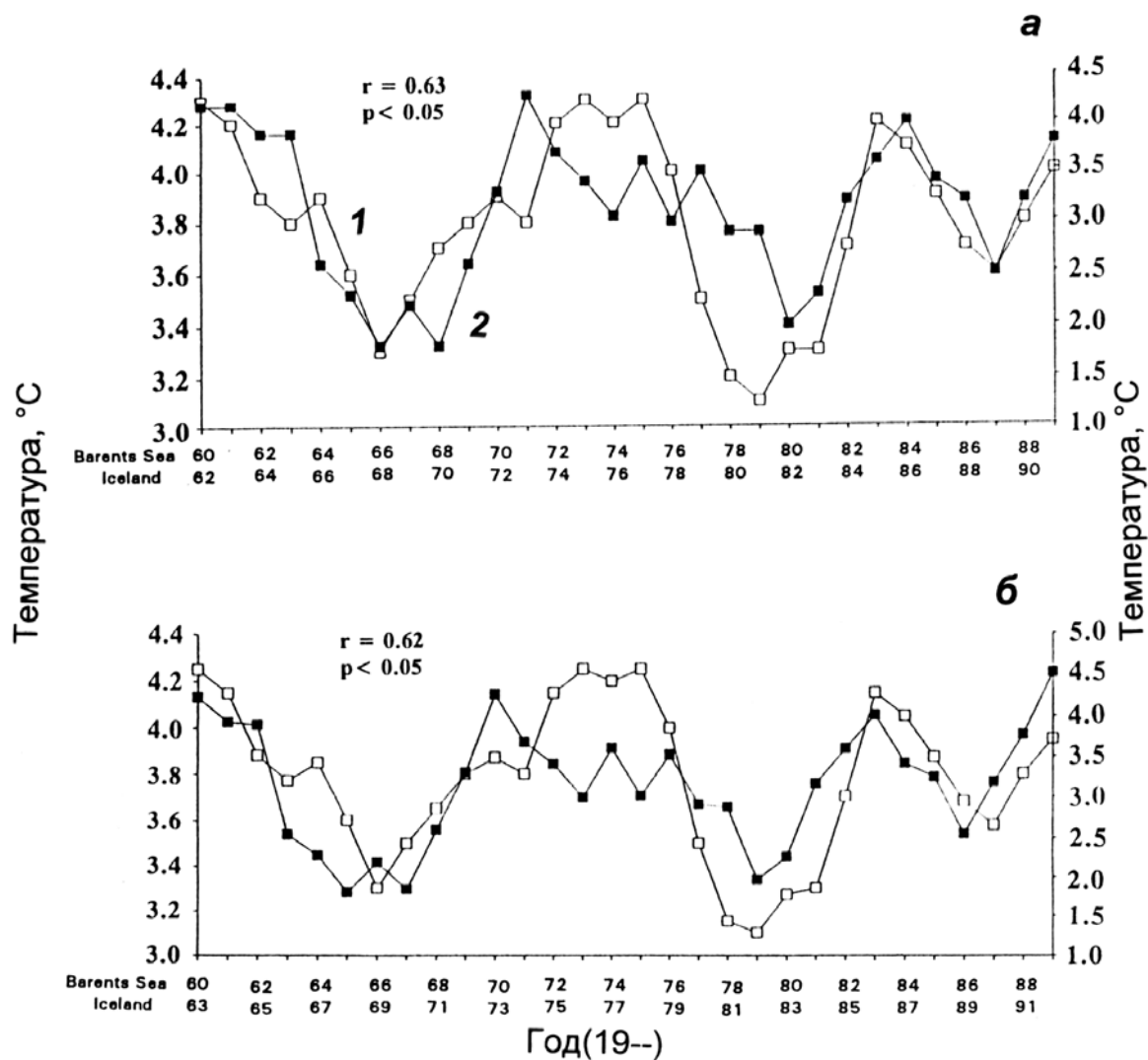


Рис.13. Изменения осредненной по 3-летиям среднегодовой температуры на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море (1) в 1960-1989 гг. и средней весенней температуры на разрезе «Сиглунес» в Исландском море (2) через 2 (а) и 3 (б) года (Antonsson, Gudbergsson, Gudjonsson, 1996)

Можно привести некоторую ретроспективную информацию о характерных особенностях условий в гидросфере и атмосфере северной части Северной Атлантики. Период потепления отмечался приблизительно в 1920-1965 гг. (Smed, 1975) (см. рис.2, 5) и сопровождался смещением в северном направлении волн Россби с малыми амплитудами (Полярный фронт) и преобладанием зональных западных переносов по сравнению с наблюдавшимся в прошлые столетия периодом похолодания («малая ледниковая эпоха»). Условия этого периода сравнимы с теми, что сложились после 60-х годов XX века, и связано со смещением в южном направлении меридионального распределения условий в атмосфере и океане. Также можно выделить районы с наибольшими отклонениями или изменениями, наблюдавшимися как в периоды похолодания, включая «малую ледниковую эпоху» (1400-1900 гг.), так и в настоящее время. Они имеют сходные черты в распределении границ суши и океана, а также значений параметра Кориолиса. Таким образом, возможность возникновения так называемого парникового эффекта может вызывать вопросы, особенно если учитывать другие естественные причины изменений климата. По крайней мере, это относится к северным районам Северной Атлантики и северным морям.

### **Влияние промысла и окружающей среды на запасы трески**

Доказано, что широкомасштабное похолодание в северной части Северной Атлантики, начавшееся приблизительно в 1960 г., негативно воздействовало на запасы трески в этом регионе (Jakobsson, 1992; Vilhjalmsjon, 1998; Malmberg, Blindheim, 1994) (см. таблицу). Более всего оно отразилось на северо-атлантической треске, обитающей в районах Западной Гренландии и Ньюфаунленда, однако в последние десятилетия наблюдалось снижение численности и других популяций. Это особенно важно для популяций, обитающих в районах, где температура близка к нижним пределам предпочитаемых рыбой диапазонов, например, для трески районов Лабрадора, Западной Гренландии и даже северо-исландских вод и Баренцева моря. Возникает вопрос о том, в какой степени снижение запасов трески обусловлено ухудшением климата океана, а в какой – переловом. Трудно сказать, что значительнее влияет на снижение величины запаса трески. Кардинальное различие между этими факторами состоит в том, что невозможно изменить условия среды, следовательно, мы должны контролировать промысел. Тщательное регулирование последнего имеет

особое значение, когда запасы рыбы уменьшаются в результате неблагоприятного воздействия условий среды.

**Вылов, пополнение и биомасса нерестового запаса исландской, западно-гренландской, ньюфаундлендской и северо-восточной арктической трески в 1960 и 1990 гг. (Jakobsson, 1992)**

Популяция трески	Вылов, тыс.т		Пополнение, млн экз.		Нерестовый запас, тыс.т	
	1960 г.	1990 г.	1960 г.	1990 г.	1960 г.	1990 г.
Исландская	450	300	300	100	700	200
Западно-гренландская	400	100	400	100	1000	100
Ньюфаундлендская	600	300	1000	150/500	1000	300
Северо-восточная арктическая	1000	200/500	1500	300	600	250
<b>Итого</b>	<b>2450</b>	<b>1200</b>	<b>3200</b>	<b>1000</b>	<b>3300</b>	<b>850</b>

## Выводы

Временные ряды океанографических наблюдений на разрезах «Кольский меридиан» и «Сиглунес» и других, позволяют оценить изменчивость таких процессов, как стратификация и перенос вод в масштабах региона и более обширных акваторий в связи со взаимодействием океана и атмосферы. Их использование способствует лучшему пониманию процессов, лежащих в основе изменчивости океанографических условий и биологических показателей. Мы полагаем, что основным фактором, от которого зависят колебания величины запасов и распределения рыбы вдоль Арктического и Полярного фронтов, является морской климат, который влияет на условия ее жизни, включая нерест, откорм, пополнение и половое созревание, однако механизмы этого воздействия недостаточно хорошо изучены. Температура воды может непосредственно определять состояние популяций рыб или быть связана с такими явлениями, как климатические изменения, турбулентность, и другими физическими параметрами, оказывающими многостороннее воздействие на условия жизни гидробионтов. Общий взгляд на проблему может быть сформулирован следующим образом.

За последние десятилетия (1960-1990 гг.) произошло значительное снижение запасов трески в северной части Северной Атлантики. Одновременно с климатическими изменениями в этом регионе начиная с 60-

х годов происходило сокращение районов нереста, нагула и промысла трески, сопровождавшееся усилением межгодовой изменчивости САК. Кроме того, в холодные годы в северо-исландских водах, а также в районах Лабрадора, Западной Гренландии и Баренцева моря, вероятно, появлялись только бедные поколения трески.

Специалисты по морской экологии осознают тот факт, что тенденции промысла обусловлены изменчивостью условий среды в последние десятилетия. Однако физическая сущность этого явления объяснена пока лишь качественно, а это недостаточно убедительно для кругов, ведающих управлением промысла. Индекс САК является количественным показателем и, вероятно, более понятен как довольно простой, но значительный параметр, объясняющий явления крупномасштабного характера. Наконец, следует подчеркнуть, что положение Исландского минимума (или фазы волн Россби) и неустойчивые траектории циклонов являются важными характеристиками различных районов северной части Северной Атлантики, их океанографических и биологических условий при изучении климатической изменчивости в масштабе десятилетий.